

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-199244

(43) 公開日 平成7年(1995)8月4日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 2 F 1/35				
H 0 4 B 3/04		A 4229-5K		
10/02				
10/18				
		9372-5K	H 0 4 B 9/ 00	M
			審査請求 未請求 請求項の数4	OL (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平6-542

(22) 出願日 平成6年(1994)1月7日

(71) 出願人 000004226
日本電信電話株式会社
東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72) 発明者 岡村 治男
東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 井出 直孝 (外1名)

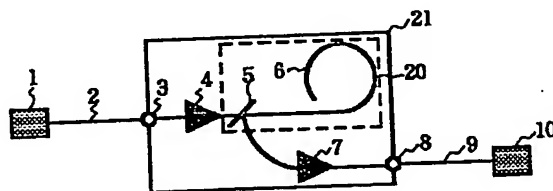
(54) 【発明の名称】 光波形劣化補償装置

(57) 【要約】

【目的】 位相共役波を用いる光波形劣化補償装置において、効率良く位相共役波を発生させる。

【構成】 光ファイバケーブルにおいて発生する誘導ブリルアン散乱を用いて位相共役波を発生させる。

【効果】 簡単な構成で効率良く、しかも波長をほとんど変えることなく位相共役波を発生させることができる。分散の影響以外の原因(光非線形現象の影響等)による波形の劣化も一括して効率良く補償することができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 光ファイバ伝送路の途中に挿入され、その伝送路の送信側に接続される光入力端子(3)と、前記伝送路の受信側に接続される光出力端子(8)と、この光入力端子(3)から入力される光信号の位相共役波を発生させる位相共役波発生部(20)と、前記光入力端子(3)から入射する光信号を前記光出力端子(8)に結合するとともに前記位相共役波発生部(20)が発生する位相共役波を前記光出力端子(8)に結合する分岐部(5)とを備えた光波形劣化補償装置において、前記位相共役波発生部(20)は、誘導ブリルアン散乱を生じさせる光ファイバケーブル(6)を備え、この光ファイバケーブル(6)の一端が前記分岐部に接続されたことを特徴とする光波形劣化補償装置。

【請求項2】 前記光ファイバケーブル(6)は、前記一端から入射する光エネルギーによる誘導ブリルアン散乱の大部分がその一端に戻るに十分な長さを有する請求項1記載の光波形劣化補償装置。

【請求項3】 前記光ファイバ伝送路のほぼ半分的位置に挿入される請求項1記載の光波形劣化補償装置。

【請求項4】 前記光入力端子(3)と前記分岐部(5)との間、および前記分岐部(5)と前記光出力端子(8)との間にそれぞれ挿入された光増幅器を備えた請求項1記載の光波形劣化補償装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は光通信に利用する。特に、長距離光伝送システムの中にあつて波長分散や光学非線形性によって生じる信号波形の劣化を位相共役波を利用することによって補償する技術に関する。

【0002】

【従来の技術】従来から光信号の位相共役波を利用することによって、光通信方式の信号波形の劣化を補償する技術が知られている。この原理は、文献(Amon Yariv 著 "Introduction to optical electronics" 原書第3版の訳本:丸善書店 "光エレクトロニクスの基礎" pp539-540)に「ひずみ補正定理」として述べられている。そして、このような目的のために位相共役波を発生させる方法として非線形光学結晶を用いる方法や、最近では光ファイバ内、あるいは半導体レーザー増幅器内の四光波混合を利用する方法が示されている。

【0003】従来例を図4を参照して説明する。図4は従来例の光波形劣化補償装置のブロック構成図である。光送信部1から送信された光信号は、光ファイバケーブル2を介して光波形劣化補償装置21の光入力端子3に到達する。この光信号は位相共役波発生部20に入力され、この光信号の位相共役波が発生される。この光信号の入力波形と出力波形とは対称になっており、光出力端子8および光ファイバケーブル9を介して光受信部10により受信される。

【0004】次に、波形劣化補償の原理を説明する。光波形劣化補償装置1を光ファイバケーブル2および9の中間地点に挿入する。光ファイバケーブル2および9はほぼ長さが等しく例えば数百kmである。このとき、光ファイバケーブル2および9の伝送特性が同一であるとすると、光入力端子3に到達した光信号がすでに受けている劣化特性と、光出力端子8から出力される光信号が光受信部10に到達するまでにこれから受けることが予想される劣化特性とはほぼ同特性である。したがって、光入力端子3に到達した光信号と対称の光信号を光出力端子8から出力すれば、光ファイバケーブル9により劣化を受けることにより、この光信号は光送信部1から送信された元の信号に近い波形に復元される。このようにして、波形劣化補償が行われる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】これまで知られている四光波混合による位相共役波の発生には20 dBm以上の高いパワーの励起光源が別に必要であつて、この励起光源にはレーザー光源と光アンプの組合わせが必要なので構成が複雑になる。このように高いパワーの励起光源を用いても現在の技術では位相共役波の発生効率(信号光パワーに対する位相共役波パワーの比)は1/100以下である。さらに、この構成では、位相共役波は励起光波長に対してもとの信号波長と対称の波長で発生する。位相共役波を利用して信号波形の劣化を補償するにあたって前半の光伝送路を伝播する信号の波長と後半の光伝送路を伝播する位相共役波の波長が異なると、当然、波長劣化を補償する際に誤差を生じ、好ましくない。この制約のため、四光波混合にもとづく従来の構成で補償できるのは分散の影響による波形の劣化のみであつて、それ以外の原因(光非線形現象の影響等)による波形の劣化を補償するのは困難であつた。

【0006】本発明は、このような背景に行われたものであつて、誘導ブリルアン散乱を利用して高い効率で位相共役波を発生させ、これによって長距離光ファイバ通信方式における信号波形の劣化を補償する光波形劣化補償装置を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は、送信側から到来する光信号をその光信号の位相共役波を発生させる位相共役波と結合させて受信側に送出する。ここで、本発明の特徴とするところは、位相共役波発生部は、誘導ブリルアン散乱を生じさせる光ファイバケーブルであるところにある。この誘導ブリルアン散乱を生じさせる光ファイバケーブルにより、効率良く所望の位相共役波を発生させることができる。また、本発明の光波形劣化補償装置には光増幅器を備えることが望ましい。

【0008】すなわち、本発明は、光ファイバ伝送路の途中に挿入され、その伝送路の送信側に接続される光入力端子(3)と、前記伝送路の受信側に接続される光出力

力端子(8)と、この光入力端子(3)から入力される光信号の位相共役波を発生させる位相共役波発生部(20)と、前記光入力端子(3)から入射する光信号を前記光出力端子(8)に結合するとともに前記位相共役波発生部(20)が発生する位相共役波を前記光出力端子(8)に結合する分岐部(5)とを備えた光波形劣化補償装置において、前記位相共役波発生部(20)は、誘導ブリルアン散乱を生じさせる光ファイバケーブル(6)を備え、この光ファイバケーブル(6)の一端が前記分岐部に接続されたことを特徴とする。

【0009】前記光ファイバケーブル(6)は、前記一端から入射する光エネルギーによる誘導ブリルアン散乱光の大部分がその一端に戻るに十分な長さを有することが望ましい。その光ファイバケーブル(6)の長さは、実用的には1~30kmが望ましく、さらに10~20km程度であることが望ましい。

【0010】本発明の装置は、前記光ファイバ伝送路のほぼ半分の位置に挿入されることがよい。

【0011】前記光入力端子(3)と前記分岐部(5)との間、および前記分岐部(5)と前記光出力端子(8)との間にそれぞれ挿入された光増幅器を備えることが望ましい。

【0012】

【作用】本発明は、位相共役波を利用することによって光ファイバケーブルを用いた光通信の信号波形の劣化を補償するシステムの構築にあたって、従来のように光ファイバケーブル内、あるいは半導体レーザ増幅器内の四光波混合を利用して位相共役波を発生させるのではなく、光ファイバケーブル内の誘導ブリルアン散乱を利用する。

【0013】これまで誘導ブリルアン散乱と、光ファイバケーブルを用いた長距離光通信との関係について知られているのは、そのマイナス面だけであった。すなわち、光ファイバケーブル中を長距離にわたって光信号を伝送するためには光ファイバケーブルにできるだけ大きな光信号パワーを入射する必要がある。しかし、入射光信号パワーが約10dBmを越えると誘導ブリルアン散乱が発生し、入射パワーの大半が入射端に戻ってしまふ。そのため、光ファイバケーブルに入射させることのできる光信号パワーの上限が制限されることが知られている。このようにして入射される光信号パワーの大部分が誘導ブリルアン散乱として戻ってくるが、本発明は、この誘導ブリルアン散乱光が入射光に対して位相共役の関係にあることに着目し、伝送波形劣化の補償に応用することを提案するものである。

【0014】本発明では、四光波混合の代わりに光ファイバケーブル内の誘導ブリルアン散乱を利用していることで位相共役波の発生効率は通常1/10以上であって、1/2以上の極めて高い効率を得ることも可能である(従来の四光波混合法の10倍から50倍以上)。さら

に波長変化が極めて少ない位相共役波を発生できることも大きな利点である。誘導ブリルアン散乱光の波長の変化は信号光に対して約0.1nm程度と少ない(四光波混合によって位相共役波を発生させた実験の報告では、位相共役波の波長は元の信号から6nmないし8nmも変化している)。その結果、本発明によって発生させた位相共役波では分散の影響以外の原因(自己位相変調や四光波混合(特に波長多重系の場合))のような光非線形現象の影響)による波形の劣化も一括して効率良く補償することができる。

【0015】本発明は、昨今の光増幅器の出現により、光信号を光波形のまま1万kmにも及ぶ超長距離を伝送できるようになった光通信技術の性能をさらに向上させるために有用である。

【0016】

【実施例】本発明第一実施例の構成を図1を参照して説明する。図1は本発明第一実施例装置のブロック構成図である。

【0017】本発明は、光ファイバケーブル2および9の途中に挿入され、光ファイバケーブル2に接続される光入力端子3と、光ファイバケーブル9に接続される光出力端子8と、この光入力端子3から入力される光信号の位相共役波を発生させる位相共役波発生部20と、光入力端子3から入射する光信号を光出力端子8に結合するとともに位相共役波発生部20が発生する位相共役波を光出力端子8に結合する分岐部5とを備えた光波形劣化補償装置21である。

【0018】ここで、本発明の特徴とするところは、位相共役波発生部20は、誘導ブリルアン散乱を生じさせる散乱用光ファイバケーブル6を備え、この散乱用光ファイバケーブル6の一端が分岐部5に接続されるところにある。散乱用光ファイバケーブル6は、前記一端から入射する光エネルギーによる誘導ブリルアン散乱光の大部分がその一端に戻るに十分な長さを有する。また、光ファイバケーブル2および9の長さはほぼ等しい。さらに、光入力端子3と分岐部5との間、および分岐部5と光出力端子8との間にそれぞれ挿入された光増幅器4および7を備えている。

【0019】次に、本発明第一実施例の動作を説明する。光送信部1からの強度変調光は入力側の光ファイバケーブル2を経て光入力端子3に至る。この間、光信号波形は光ファイバケーブル2で波長分散の他、自己位相変調や四光波混合(特に波長多重系の場合)のような光非線形現象の影響を受けて歪む。この信号は光増幅器4で増幅されて分岐部5を経て散乱用光ファイバケーブル6に入力される。分岐部5は具体的には、一般のファイバカップラまたは半透過鏡である。散乱用光ファイバケーブル6は信号の入射を受けて誘導ブリルアン散乱を生じ、この誘導ブリルアン散乱光は散乱用光ファイバケーブル6中を逆進し、分岐部5において光ファイバケー

ル2による光伝送路から分離され、光増幅器7で増幅された後、光出力端子8に接続される出力側の光ファイバケーブル9による光伝送路を伝搬し光受信部10に至る。散乱用光ファイバケーブル6が光信号の入射を受けて発生する誘導ブリルアン散乱光は入力信号と位相共役の関係にある(参考文献:V.Wang and C.R.Giuliano,"Correction of phase aberrations via stimulated Brillouin scattering",Opt Lett.,Vol.2,No.1,pp.4-6,1978:T.A.Wiggins,R.V.Wick and D.H.Rank,"Stimulated effects in N₂ and CH₄ gases",Appl.Opt.,Vol.5,No.6,pp.1069-1072,1966)。

【0020】ここで、光波形劣化補償装置21が入力側の光ファイバケーブル2と出力側の光ファイバケーブル9のちょうど中間地点に挿入され(すなわち、両ファイバが同一長さ)、しかも両光ファイバケーブルの伝送特性に関するファイバパラメータが同一であるとする。と、入力側の光ファイバケーブル2を伝搬する過程で劣化した信号波形は、光波形劣化補償装置21で入力信号波形に対して位相共役の関係にある波に変換されて出力側の光ファイバケーブル9を伝播し光受信部10に到達するとき、入力側の光ファイバケーブル2の入口を出発したときの波形状態に戻る。これによって波形劣化を回復することができる。

【0021】ここで、散乱用光ファイバケーブル6としては、信号の入射を受けて誘導ブリルアン散乱を効率良く生じる必要があつて、高い信号パワー密度を得よう使用波長におけるモードフィールド径が小さい単一モードファイバが望ましい。一般に誘導ブリルアン散乱を生じるための信号強度は10dBm以上必要で、散乱用光ファイバケーブル6に必要な長さは10~20km程度以上と見積もられる。散乱用光ファイバケーブル6の端部は、信号がそのまま反射して誘導ブリルアン散乱光に混入するのを防ぐために無反射処理される必要がある。

【0022】また、図2は、図1の入力側の光ファイバケーブル2および出力側の光ファイバケーブル9の途中にいくつかの光増幅器11、12、13、14(ここでは一例としてそれぞれ2台だけずつ図示している)が直列に接続される構成を示す図であるが、この場合には光増幅器11、12、13、14それぞれで自然放出光雑音が発生し、これらは互いにランダムで独立であるから、本発明の基本である位相共役ではこの影響は原理的に補償することはできない。しかし波長分散、自己位相変調あるいは四光波混合(特に波長多重系の場合)等によって生じる波形劣化の割合に比べて、伝送路の途中の光増幅器11、12、13、14で発生する自然放出光雑音の影響で波形が劣化する割合は少ない。したがって、図2のように伝送路の途中にいくつかの光増幅器が挿入されていても、本発明の補償装置は充分有効に動作する。

【0023】次に、本発明第二実施例を図3を参照して

説明する。図3は本発明第二実施例装置のブロック構成図である。図3は、本発明第一実施例で用いた片方向動作の光増幅器4、7の代わりに双方向動作できる光増幅器15を用いた構成例である。光増幅器15は一つでよく、部品点数の低減化がはかれるとともに、散乱用光ファイバケーブル6の一箇所を加工すればよく、加工工数の低減がはかれる。

【0024】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、位相共役波を利用することにより光ファイバ通信システムの信号波形の劣化を補償するに際して、従来のように光ファイバ内、あるいは半導体レーザ増幅器内の四光波混合を利用するのではなく、ファイバ内の誘導ブリルアン散乱を利用して簡単な構成で効率良く、しかも波長をほとんど変えることなく位相共役波を発生させることができる。本発明では位相共役波発生部が光ファイバであるから、通信用光ファイバケーブルとなじみがよい。したがって、分散の影響以外の原因(光非線形現象の影響等)による波形の劣化も一括して効率良く補償することができる大きな利点がある。

【0025】これにより、高利得で低雑音の光増幅器が開発された現在、光伝送システムの伝送距離(光信号を電気信号に変換せずに伝送できる距離)を制限する要因は大別してファイバの波長分散と、光カー効果にもとづく諸々の光非線形現象の二種類である。これまで、前者については多くの克服法が提案、実証され、今後の進展も期待されているが、後者の対策はほとんど提案されていない。したがって、ファイバの分散制限と非線形制限の双方を効果的に克服するための具体的な装置構成を提案した本発明は、これからの光伝送システムの伝送距離制限の拡大に寄与するものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明第一実施例装置のブロック構成図。

【図2】入力側の光ファイバケーブルおよび出力側の光ファイバケーブルの途中に光増幅器が直列に接続される構成を示す図。

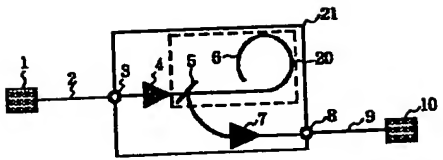
【図3】本発明第二実施例装置のブロック構成図。

【図4】従来例の光波形劣化補償装置のブロック構成図。

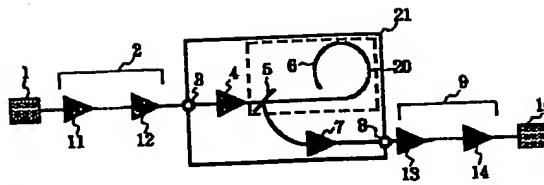
【符号の説明】

- 1 光送信部
- 2、9 光ファイバケーブル
- 3 光入力端子
- 4、7、11~15 光増幅器
- 5 分岐部
- 6 散乱用光ファイバケーブル
- 8 光出力端子
- 10 光受信部
- 20 位相共役波発生部
- 21 光波形劣化補償装置

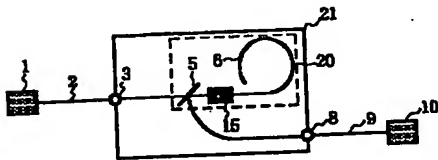
【図1】



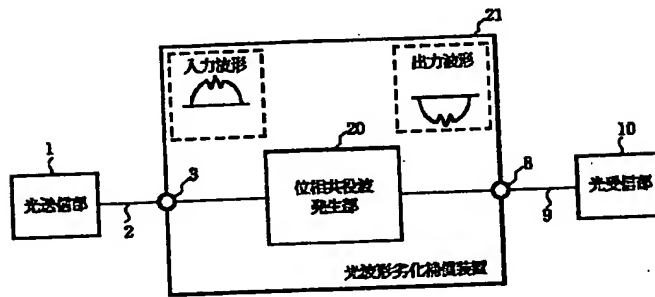
【図2】



【図3】



【図4】



PAT-NO: JP407199244A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 07199244 A

TITLE: DEVICE FOR COMPENSATING OPTICAL WAVEFORM
DETERIORATION

PUBN-DATE: August 4, 1995

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

OKAMURA, HARUO

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

COUNTRY

NIPPON TELEGR & TELEPH CORP <NTT>

N/A

APPL-NO: JP06000542

APPL-DATE: January 7, 1994

INT-CL (IPC): G02F001/35, H04B003/04 , H04B010/02 , H04B010/18

ABSTRACT:

PURPOSE: To generate phase conjugate wave in high efficiency by providing an optical fiber cable generating stimulated Brillouin scattering in a phase conjugate generation part.

CONSTITUTION: This device is provided with the phase conjugate wave generation part 20 generating the phase conjugate wave of an optical signal inputted from a light input terminal 3, a branch part 5 coupling the optical signal made incident from the light input terminal 3 to a light output terminal 8 and coupling the phase conjugate wave generated by the phase conjugate wave generation part 20 to the light output terminal 8. Then, the phase conjugate wave generation part 20 is provided with the scattering optical fiber cable 6 generating the stimulated Brillouin scattering, and one end of the cable 6 is connected to the branch part 5. The cable 6 is provided with a length sufficient for that the greater part of a stimulated Brillouin scattering beam

by optical energy incident from one end is returned to the one end. Further, it is preferable that optical amplifiers 4, 7 are inserted and provided between the light input terminal 3 and the branch part 5 and between the branch part 5 and the light output terminal 8 respectively.

COPYRIGHT: (C)1995,JPO



Japanese Unexamined Patent Publication No. 7-199244
(Published on August 4, 1995)

SPECIFICATION

[Title of the Invention]

OPTICAL WAVEFORM DEGRADATION COMPENSATING APPARATUS

[Scope of Claims for Patent]

[Claim 1] An optical waveform degradation compensating apparatus comprising: an optical input terminal 3 inserted onto the halfway of an optical fiber transmission path to be connected with the transmission side of said optical fiber transmission path; an optical output terminal 8 inserted onto the halfway of said optical fiber transmission path to be connected with the reception side of said optical fiber transmission path; a phase conjugate wave generating section 20 that generates a phase conjugate wave of an optical signal input from said optical input terminal 3; and a branching section 5 that couples the optical signal incident from said optical input terminal 3 to said optical output terminal 8, and also couples the phase conjugate wave generated in said phase conjugate wave section 20 to said optical output terminal 8,

wherein said phase conjugate wave generating section 20 comprises an optical fiber cable 6 generating the stimulated Brillouin scattering, and one end of said optical fiber cable 6 is connected with said branching section 5.

[Claim 2] An optical waveform degradation compensating apparatus according to claim 1,

wherein said optical fiber cable 6 has the length sufficient for a major part of a stimulated Brillouin scattered light due to optical energy, which is incident from said one end, to return to said one end.

[Claim 3] An optical waveform degradation compensating apparatus according to claim 1,

wherein said apparatus is inserted onto a substantially half location of said optical fiber transmission path.

[Claim 4] An optical waveform degradation compensating apparatus according to claim 1,

wherein said apparatus comprises an optical amplifiers inserted between said optical input terminal 3 and said branching section 5, and an optical amplifier inserted between said branching section 5 and said optical output terminal 8.

[Detailed Description of the Invention]

[Industrial Field of the Invention]

The present invention is utilized for optical communications, and in particular, relates to a technology for compensating for the signal waveform degradation which is generated due to the wavelength dispersion or an optical nonlinear characteristic in a long distance optical transmission system, by utilizing a phase conjugate wave.

[Related Art]

Conventionally, there has been known a technology for compensating for the signal waveform degradation in an optical communication system, by utilizing a phase conjugate wave of an optical signal. The theory of this technology is recited as "distortion correction theorem" in the literature (translation of the original literature "Introduction to optical electronics" by Amon Yariv, third edition), pp539-540, published by Maruzen Co., Ltd. In recent years, as methods of generating the phase conjugate wave in order to compensate for the signal waveform degradation, there have been proposed a method using a nonlinear optical crystal and a method utilizing the four-wave mixing in an optical fiber or in a semiconductor laser amplifier.

A conventional example will be described referring to FIG. 4. FIG. 4 is a block diagram of an optical waveform degradation compensating apparatus in the conventional example. An optical signal transmitted from an optical transmission section 1 reaches an optical input terminal 3 of an optical waveform degradation compensating apparatus 21 via an optical fiber cable 2. This optical signal is input to a phase conjugate wave generating section 20, in which a phase conjugate wave of the optical signal is generated. This optical signal has an input waveform and an output waveform which are symmetric to each other, and is received by an optical

reception section 10 via an optical output terminal 8 and an optical fiber cable 9.

Next, a theory of waveform degradation compensation will be described. The optical waveform degradation compensating apparatus 21 is inserted onto a half location between the optical fiber cables 2 and 9. The optical fiber cables 2 and 9 have the substantially equal lengths of several hundred kilometers, for example. At this time, if transmission characteristics of the optical fiber cables 2 and 9 are the same, a degradation characteristic which has already acted on the optical signal reached the optical input terminal 3, and a degradation characteristic which will act on the optical signal during a period of time from the optical signal is output from the optical output terminal 8 until the optical signal reaches the optical reception section 10, are substantially the same. Accordingly, if an optical signal, which is symmetric to the optical signal reached the optical input terminal 3, is output from the optical output terminal 8, this optical signal is degraded by the optical fiber cable 9 to be restored to have a waveform similar to that of the original signal transmitted from the optical transmission section 1. Thus, the waveform degradation compensation is performed.

[Problems to be solved by the invention]

In order to generate the phase conjugate wave by the known four-wave mixing, it is necessary to prepare a separate pumping light source with high power of 20dBm or above. Further, this pumping light source needs the combination of a laser light source and an optical amplifier, and therefore, a configuration thereof becomes complicated. Even if such a high powered pumping light source is used, in the present technology, the generating efficiency of the phase conjugate wave (a ratio of the phase conjugate wave power to the signal light power) is 1/100 or less than 1/100. Further, in this configuration, the phase conjugate wave is generated to have a wavelength symmetric to an original signal waveform, with respect to a pumping light wavelength. In compensating for the signal waveform degradation utilizing the phase conjugate wave, if the wavelength of the signal propagated through the former half of the optical transmission path is different from the wavelength of the phase conjugate wave propagated through the latter half of the optical transmission path, naturally, an error is undesirably caused when the wavelength degradation is compensated. Due to such a restriction, the conventional configuration based on the four-wave mixing can only compensate for

the waveform degradation due to an influence of dispersion, and accordingly, it is hard to compensate for the waveform degradation due to other causes (an influence of optical nonlinear phenomenon and the like).

The present invention has been accomplished in view of the above problems and has an object to provide an optical waveform degradation compensating apparatus for generating a phase conjugate wave with high efficiency by utilizing the stimulated Brillouin scattering, to compensate for the signal waveform degradation in a long distance optical fiber communication system using the generated phase conjugate wave.

[Means for solving the Problems]

According to the present invention, an optical signal reached from the transmission side is coupled to a phase conjugate wave, which generates a phase conjugate wave of the optical signal, to be sent out to the reception side. Here, the present invention is characterized in that a phase conjugate wave generating section is an optical fiber cable generating the stimulated Brillouin scattering. By using the optical fiber cable generating the stimulated Brillouin scattering, it is possible to generate a desired phase conjugate wave with high efficiency. Further, it is desirable that an optical waveform degradation compensating apparatus of the present invention comprises optical amplifiers.

Namely, the present invention provides an optical waveform degradation compensating apparatus comprising: an optical input terminal 3 inserted onto the halfway of an optical fiber transmission path to be connected with the transmission side of the optical fiber transmission path; an optical output terminal 8 inserted onto the halfway of the optical fiber transmission path to be connected with the reception side of the optical fiber transmission path; a phase conjugate wave generating section 20 that generates a phase conjugate wave of an optical signal input from the optical input terminal 3; and a branching section 5 that couples the optical signal incident from the optical input terminal 3 to the optical output terminal 8, and also couples the phase conjugate wave generated in the phase conjugate wave section 20 to the optical output terminal 8, wherein the phase conjugate wave generating section 20 comprises an optical fiber cable 6 generating the stimulated Brillouin scattering, and one end of the optical fiber cable 6 is connected with the branching

section 5.

It is desirable that the optical fiber cable 6 has the length sufficient for a major part of a stimulated Brillouin scattered light due to optical energy, which is incident from the one end, to return to the one end. It is desirable that the optical fiber cable 6 has the length of 1 to 30km for the practical use, and further desirably, 10 to 20km.

The apparatus of the present invention is preferably inserted onto a substantially half location of the optical fiber transmission path.

The apparatus of the present invention preferably comprises an optical amplifier inserted between the optical input terminal 3 and the branching section 5, and an optical amplifier inserted between the branching section 5 and the optical output terminal 8.

[Function]

According to the present invention, in constructing a system for compensating for the signal wave degradation in the optical communication which uses the optical fiber cable, by utilizing the phase conjugate wave, differently from the conventional technology for generating the phase conjugate wave utilizing the four-wave mixing in the optical fiber cable or in the semiconductor laser amplifier, the stimulated Brillouin scattering in the optical cable fiber is utilized.

Only a negative aspect has been known in the relationship between the stimulated Brillouin scattering and the long distance optical communication using the optical fiber cable. Namely, in order to transmit the optical signal through the optical fiber cable over a long distance, it is necessary that the optical signal power as high as possible is incident on the optical fiber cable. However, if the incident optical signal power exceeds about 10dBm, the stimulated Brillouin scattering is generated, so that a major part of the incident power returns to the incident end. Therefore, there has been known that the upper limit of the optical signal power capable to be incident on the optical fiber cable is restricted. Although the major part of the incident optical signal power is returned as the stimulated Brillouin scattering, the present invention pays an attention to the fact that the stimulated Brillouin scattered

light is in a phase conjugate relation with the incident light, and accordingly, proposes to apply the stimulated Brillouin scattering to the transmitted wave degradation compensation.

In the present invention, since the stimulated Brillouin scattering in the optical fiber cable is utilized in place of the four-wave mixing, the generation efficiency of the phase conjugate wave is normally 1/10 or above, and accordingly, it is also possible to achieve the significantly high efficiency of 1/2 or above (ten to fifty times of the conventional four-wave mixing method). Further, the present invention has a large advantage in that the phase conjugate wave whose wavelength change is significantly small can be generated. The wavelength change of the stimulated Brillouin scattered light is less for about 0.1nm with respect to the signal light (in the examination report in which the phase conjugate wave is generated by the four-wave mixing, the wavelength of the phase conjugate wave is changed by 6nm to 8nm from that of the original signal). As a result, according to the phase conjugate wave generated in the present invention, it is possible to collectively compensate for, with high efficiency, the waveform degradation due to the cause (influence of the optical nonlinear phenomenon, such as the self-phase modulation or the four-wave mixing (in particular, in the case of wavelength division multiplexing system) other than an influence of dispersion.

The present invention is useful to further improve the performance of the optical communication technology, which becomes possible to transmit the optical signal while keeping the optical waveform thereof over the ultra-long distance of ten thousand kilometers due to the recent advent of optical amplifiers.

[Embodiments]

A configuration of a first embodiment according to the present invention will be described referring to FIG. 1. FIG. 1 is a block diagram of an apparatus of the first embodiment according to the present invention.

An optical waveform degradation compensating apparatus 21 in the present invention comprises: an optical input terminal 3 inserted onto the halfway of an optical fiber cable 2 to be connected with the optical fiber cable 2; an optical output terminal 8 inserted onto the halfway of an optical fiber cable 9 to be connected with

the optical fiber cable 9; a phase conjugate wave generating section 20 that generates a phase conjugate wave of an optical signal input from the optical input terminal 3; and a branching section 5 that couples the optical signal incident from the optical input terminal 3 to the optical output terminal 8, and also couples the phase conjugate wave generated in the phase conjugate wave section 20 to the optical output terminal 8.

Here, the present invention is characterized in that the phase conjugate wave generating section 20 comprises a scattering optical fiber cable 6 generating the stimulated Brillouin scattering, and one end of the scattering optical fiber cable 6 is connected with the branching section 5. The scattering optical fiber cable 6 has the length sufficient for a major part of a stimulated Brillouin scattered light due to optical energy, which is incident from the one end, to return to the one end. Further, the optical fiber cables 2 and 9 have the lengths substantially equal to each other. Moreover, the optical waveform degradation compensating apparatus 21 comprises an optical amplifier 4 inserted between the optical input terminal 3 and the branching section 5, and an optical amplifier 7 between the branching section 5 and the optical output terminal 8, respectively.

Next, an operation of the first embodiment according to the present invention will be described. An intensity modulated light from an optical transmission section 1 reaches the optical input terminal 3 via the optical fiber cable 2 on the input side. During the light is being propagated through the optical fiber cable 2, the optical signal waveform thereof is distorted by an influence of the optical nonlinear phenomenon such as the self-phase modulation or the four-wave mixing (in particular, in the case of wavelength division multiplexing system) other than the wavelength dispersion. This signal is amplified by the optical amplifier 4 and passes through the branching section 5, to be input to the scattering optical fiber cable 6. To be specific, the branching section 5 is a typical fiber coupler or a typical half mirror. The scattering optical fiber cable 6 receives the signal incidence to generate the stimulated Brillouin scattering. The resultant stimulated Brillouin scattered light reversely travels through the scattering optical fiber cable 6, and is branched from an optical transmission path by means of the optical fiber cable in the branching section 5, and is amplified by the optical amplifier 7. Then, the amplified light is propagated through an optical transmission path by means of the optical fiber cable 9 on the output side, which is connected with the optical output terminal 8, to

reach an optical reception section 10. The stimulated Brillouin scattered light, which is generated when the scattering optical fiber cable 6 receives the optical signal incidence, is in a phase conjugate relation with the input signal (refer to the reference literatures: "Correction of phase aberrations via stimulated Brillouin scattering" by V. Wang and C. R. Giuliano, Opt. Lett., Vol. 2, No. 1, pp.4-6, 1978; and "Stimulated effects in N₂ and CH₄ gases" by T. A. Wiggins, R. V. Wick and D. H. Rank, Appl. Opt., Vol. 5, No. 6, pp. 1069-1072, 1966).

Here, if the optical waveform degradation compensating apparatus 21 is inserted onto a half location between the input side optical fiber cable 2 and the output side optical fiber cable 9 (that is, the lengths of both optical fiber cables are equal to each other), and also, fiber parameters relating to transmission characteristics of both optical fiber cables are the same, the signal waveform which has been degraded during the process in which the signal is being propagated through the input side optical fiber cable 2, returns to the waveform state of the time when the signal starts an inlet of the input side optical fiber cable 2, when the waveform of the input signal is converted into a wave which is in the phase conjugate relation with the input signal wave by the optical waveform degradation compensating apparatus 21 to be propagated through the output side optical fiber cable 9, and reaches the optical reception section 10. As a result, it is possible to avoid the waveform degradation.

Here, as the scattering optical fiber cable 6, since it is necessary to generate with high efficiency the stimulated Brillouin scattering when receiving the signal incidence, it is desirable to use a single mode fiber of small mode field diameter in the used wavelength, so that the high signal power density can be obtained. Typically, the signal intensity of 10dBm or above is necessary for generating the stimulated Brillouin scattering. The length necessary for the scattering optical fiber cable 6 is estimated to be about 10 to 20km or above. End portions of the scattering optical fiber cable 6 need to be subjected to the non-reflective processing, in order to prevent that the signal is reflected just as it is, to be mixed into the stimulated Brillouin scattered light.

Further, FIG. 2 is a diagram showing a configuration in which optical amplifiers 11 and 12 are connected in series on the halfway of the input side optical fiber cable 2, and optical amplifiers 13 and 14 are connected in series on the halfway

of the output side optical fiber cable 9, (here, as one example, respective two amplifiers are shown). In this case, amplified spontaneous emission light noises are generated in the respective optical amplifiers 11, 12, 13 and 14. Since these amplified spontaneous emission light noises are randomly independent of each other, influences of these noises cannot be compensated in principle by the phase conjugate which is the base of the present invention. However, in comparison with a rate of waveform degradation generated due to the wavelength dispersion, the self-phase modulation, the four-wave mixing (in particular, in the case of the wavelength division multiplexing system) or the like, there is a less rate of waveform degradation due to the influence of the amplified spontaneous emission light noise generated in each of the optical amplifiers 11, 12, 13 and 14 on the halfway of the transmission path. Accordingly, even if several optical amplifiers are inserted onto the halfway of the transmission path as shown in FIG. 2, the compensating apparatus of the present invention operates high effectively.

Next, a second embodiment of the present invention will be described referring to FIG. 3. FIG. 3 is a block diagram showing an apparatus of the second embodiment according to the present invention. FIG. 3 shows a configuration example in which an optical amplifier 15 capable of bi-directionally operating is used, in place of the optical amplifiers 4 and 7 each operating in one direction, which have been used in the first embodiment of the present invention. Since the single optical amplifier 15 may be used, the number of parts can be reduced, and also, since only one portion of the scattering optical fiber cable 6 may be processed, the number of man-hour can be reduced.

[Effects of the Invention]

As described above, according to the present invention, in compensating for the signal wave degradation in the optical fiber communication system by utilizing the phase conjugate wave, differently from the conventional technology for utilizing the four-wave mixing in the optical fiber or in the semiconductor laser amplifier, it is possible to generate the phase conjugate wave with high efficiency without changing the wavelength, by utilizing the stimulated Brillouin scattering in the fiber. In the present invention, the phase conjugate wave generating section is the optical fiber, and therefore, is easy to fit with the communication optical fiber cable. Accordingly, the present invention has a large advantage in that the waveform degradation due to

the cause (the influence of the optical nonlinear phenomenon or the like) other than the influence of dispersion, can be collectively compensated with high efficiency.

As a result, at the present time where the optical amplifier of high gain and low noise has been developed, there are two types of factors restricting the transmission distance of the optical transmission system (distance capable of transmitting without converting the optical signal into the electric signal), that is, the wavelength dispersion of the fiber and the various optical nonlinear phenomena based on the optical Kerr effect. Up to this date, many methods of overcoming the former factor have been proposed and demonstrated, and accordingly, the future development of these methods are expected. However, any method of overcoming the latter factor has not been proposed. Consequently, the present invention which proposes the specific apparatus configuration for effectively overcoming the fiber dispersion restriction and the nonlinear restriction, contributes to the future increase of the transmission distance of the optical transmission system.

[Brief Explanation of the Drawings]

[FIG. 1] a block diagram of a first embodiment of the present invention;

[FIG. 2] a diagram showing a configuration in which optical amplifiers are connected in series on the halfway of an input side optical fiber cable and on the halfway of an output side optical fiber cable;

[FIG. 3] a block diagram of a second embodiment of the present invention; and

[FIG. 4] a block diagram of a conventional optical waveform degradation compensating apparatus.

[Numeral Explanation]

- 1 optical transmission section
- 2, 9 optical fiber cable
- 3 optical input terminal
- 4, 7, 11 to 15 optical amplifier
- 5 branching section
- 6 scattering optical fiber cable
- 8 optical output terminal

- 10 optical reception section
- 20 phase conjugate wave generating section
- 21 optical waveform degradation compensating apparatus

FIG 1

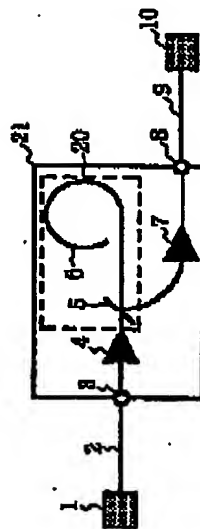


FIG 2

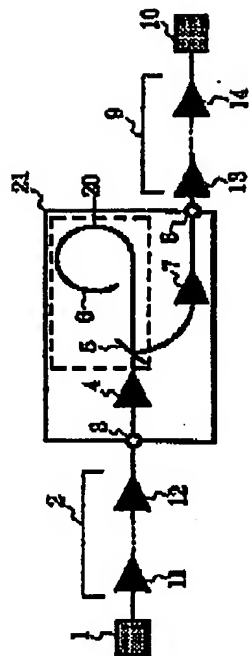


FIG 3

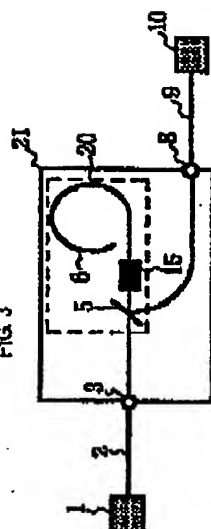


FIG 4

